

不同 *Rht* 基因在冬小麦育种中的利弊分析

李杏普 毛 沛 段喜顺 庞春明 AJ. Worland

(河北省农林科学院粮油作物研究所, 石家庄 050031)

摘 要 利用携带不同 *Rht* 矮秆基因的 6 个冬小麦近等基因系, 进行了两年试验, 研究了不同矮秆基因在育种中的利用价值。结果表明: *Rht* 1 和 *Rht* 2 两个半矮秆基因显著提高了单株(或单穗)粒数和粒重、经济系数和倒二叶面积, 较 *Rht* 3 和高秆系显著降低了千粒重; *Rht* 3 矮秆基因对单株粒数、单株产量和穗粒数均有负向作用, 显著提高了千粒重; *Rht* 1 + *Rht* 2 较高秆系和 *Rht* 2 + *Rht* 3 系比较显著提高了经济系数; *Rht* 2 + *Rht* 3 对产量构成因子和经济系数均有负向作用; 以上 5 种矮秆基因型均有显著的降秆作用, 但对旗叶面积和穗长无影响。

关键词 冬小麦 矮秆基因 近等基因系 农艺性状

中图分类号 S512.103.2 文献标识码 A 文章编号 1000- 7091(1999)03- 0010- 05

世界上诸学者已研究了不同矮秆基因对提高小麦产量及改良其农艺性状的作用^[1~ 14]。Snape 等^[12]报道收获指数的增加, 在很大程度上受 *Rht* 1 和 *Rht* 2 基因的影响。Allan(1983)报道, 具有单个 Norin 10 矮秆基因的近等基因系, 其平均产量比具有双矮秆基因的品系高 11%。众多学者一致认为 Norin 10 矮秆基因对小麦产量有优势作用, 而对 *Rht* 3 基因在育种中的利用价值则持有不同的观点。许多育种家认为, 由于矮秆基因对生态环境反应敏感, 表现出在不同的生态条件下对性状的作用不同^[7]。因此, 本试验在石家庄地区条件下利用一套冬小麦“近等基因系”来排除其它基因的干扰, 以期准确研究不同的 *Rht* 矮秆基因及其互作对小麦产量及其农艺性状的作用。为具有同样生态条件下的小麦矮化育种提供参考。

1 材料和方法

1995~ 1997 年, 在河北省粮油作物所试验田, 种植以英国的高秆冬小麦品种 Maris Huntsman 为背景, 进行多年回交转育成的一套近等基因系。这些基因系冬小麦分别含有 *Rht* 1、*Rht* 2、*Rht* 3、*Rht* 1 + *Rht* 2、*Rht* 2 + *Rht* 3 和 *rht* (高秆品种) 6 种不同的基因类型。每个基因系种一小区, 重复 3 次, 随机排列。每小区 4 行, 行长 1.15 m(1997 年为 1.20 m), 行距 15 cm(1997 年 20 cm)。每 m²133 株。在小麦生育期间浇水 5 次, 施底肥和返青肥, 及时除治地下害虫和蚜虫, 6 月下旬收获。

每小区取有代表性的 10 株, 每个基因系 30 株, 分别调查株高、穗长、穗粒数、穗粒重、千粒重、单株穗数、单株粒数、单株产量、旗叶和倒二叶面积、经济系数, 并上机统计分析。

1998- 04- 13 收稿。
 作者简介: 李杏普, 女, 1957 年生, 研究员, 农学学士, 主要从事小麦遗传资源研究工作。

2 结果与分析

2.1 不同 *Rht* 基因系的产量性状差异

单株穗数、单株粒数、单株产量、穗粒数、穗粒重和千粒重 6 个产量性状表现见表 1。不同的基因型间方差分析结果均达到显著水平(见表 2)。新复极差测验结果证明各基因对不同性状的不同作用如下:

单株穗数: 1995 年试验结果表明 *Rht*2 + *Rht* 3 与其它基因型比较显著降低了单株穗数 ($P < 0.05$ 或 < 0.01)。 *Rht*3 基因较 *Rht* 1 单株穗数显著降低 ($P < 0.05$), 而与其它基因型差异不显著。 *Rht* 1 和 *Rht* 2 及其互作与 *rht* 基因型比较均对单株穗数无影响。而 1997 年试验结果各基因型之间虽然差异不显著, 但总的趋势与 1995 年结果相吻合。 *Rht*3 基因的单株穗数较低。这与李杏普等^[1] 在春小麦试验中的结果一致。众所周知, 分蘖成穗率是反映小麦抗逆性的一个重要标志。因此, 在小麦抗逆性育种中要特别注意 *Rht*3 矮秆基因型对单株穗数的负

表 1 不同矮秆基因型的主要农艺性状表现

基因型	单株穗数		单株粒数		单株粒重		穗粒数		穗粒重		千粒重	
	1995	1997	1995	1997	1995	1997	1995	1997	1995	1997	1995	1997
<i>rht</i>	6.47	6.1	145.58	209	4.40	8.41	22.50	34.23	0.68	1.38	30.22	40.36
<i>Rht</i> 1	7.8	6.3	244.53	295	7.33	10.70	31.35	47.83	0.94	1.74	29.98	36.2
<i>Rht</i> 2	6.2	5.2	236.72	254	5.58	9.09	38.18	49.23	0.89	1.75	23.31	35.8
<i>Rht</i> 3	5.40	5.2	130.63	119	4.00	5.1	24.19	22.43	0.74	0.96	30.59	43.3
<i>Rht</i> 1 + <i>Rht</i> 2	6.47	5.8	186.34	144	4.01	5.22	28.8	25.10	0.62	0.90	21.52	36.16
<i>Rht</i> 2 + <i>Rht</i> 3	3.90	5.5	69.42	35	1.87	1.20	17.8	6.07	0.52	0.21	29.21	33.64

基因型	经济系数		株 高		穗 长		期叶面积		倒二叶面积	
	1995	1997	1995	1997	1995	1997	1995	1997	1995	1997
<i>rht</i>	23.91	23.07	88.33	100.7	10.5	10.16	43.42	41.35	36.98	43.66
<i>Rht</i> 1	29.65	29.75	71.00	81.7	11.5	10.73	43.16	50.88	46.56	45.71
<i>Rht</i> 2	29.15	27.18	73.00	77.7	10.9	10.32	44.50	40.81	46.02	41.97
<i>Rht</i> 3	28.68	22.15	39.33	41.7	11.3	10.18	45.67	43.46	37.68	40.86
<i>Rht</i> 1 + <i>Rht</i> 2	29.66	25.25	47.33	47.3	11.5	11.35	39.17	43.99	35.18	40.84
<i>Rht</i> 2 + <i>Rht</i> 3	20.60	5.24	28.67	35.3	11.3	11.15	41.67	42.29	39.09	40.32

* 小麦生育后期干热风可能对产量性状有所影响

表 2 农艺性状差异显著性测验

产量因子	变异来源	F		产量因子	变异来源	F		性 状	变异来源	F	
		1995	1997			1995	1997			1995	1997
单株穗数	基因型	3.83*	0.71	穗粒数	基因型	16.02**	20.70**	经济系数	基因型	7.79**	19.16**
	区组间	0.01	1.71		区组间	0.01	0.61		区组间	2.95	0.23
单株粒数	基因型	80.26**	24.19**	千粒重	基因型	5.93**	4.23*	倒二叶面积	基因型	15.91**	0.64
	区组间		1.66		区组间	0.60	1.58		区组间	1.72	3.58
单株粒重	基因型	15.32**	17.05**	穗粒重	基因型	11.73**	21.72**	株 高	基因型	28.56**	425.29**
	区组间	0.35	1.03		区组间	2.84	1.33		区组间	3.28	0.35

* DF: 基因型= 5; 区组间= 2 F: 基因型: $F_{0.05} = 3.33$ $F_{0.01} = 5.64$ 区组间: $F_{0.05} = 4.10$ $F_{0.01} = 7.56$

向作用。

单株粒数: 两年结果均表明 $Rht\ 1$ 和 $Rht\ 2$ 的单株粒数显著高于 $Rht\ 1 + Rht\ 2$ 、 $Rht\ 3$ 、 $Rht\ 2 + Rht\ 3$ 和 rht 基因型($P < 0.01$), $Rht\ 2 + Rht\ 3$ 基因型的单株粒数最少。 rht 基因则 1995 年较低, 1997 年较高, 单株粒数年际间不稳定。显见, $Rht\ 2$ 和 $Rht\ 1$ 矮秆基因型可作为提高单株粒数的亲本利用。然而, $Rht\ 3$ 和 $Rht\ 2 + Rht\ 3$ 在以提高单株粒数为目标的育种中应慎重利用。

单株粒重: 1995 年, $Rht\ 1$ 和 $Rht\ 2$ 半矮秆基因的单株粒重显著高于其它 4 种基因型($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。 rht 、 $Rht\ 3$ 和 $Rht\ 1 + Rht\ 2$ 基因型之间无显著差异 $Rht\ 2 + Rht\ 3$ 与其它基因型比较显著降低了单株粒重。1997 年, $Rht\ 1$ 、 $Rht\ 2$ 、 rht 显著高于其它 3 个基因系, 前二者之间差异不显著。 $Rht\ 2 + Rht\ 3$ 显著低于 $Rht\ 1 + Rht\ 2$ 和 $Rht\ 3$, 可见 $Rht\ 1$ 和 $Rht\ 2$ 提高小麦单株粒重的作用显著, 且年际间较稳定。

穗粒数: 两年结果基本一致, $Rht\ 1$ 和 $Rht\ 2$ 矮秆基因型与其它 4 种基因型比较显著增加了穗粒数($P < 0.05$ 或 $P < 0.001$)。 $Rht\ 1 + Rht\ 2$ 较高秆基因系 rht 和 $Rht\ 2 + Rht\ 3$ 显著增加了穗粒数, $Rht\ 2 + Rht\ 3$ 矮秆基因型较其它 5 种基因型显著降低了穗粒数($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。

穗粒重: 两年结果基本一致, $Rht\ 1$ 和 $Rht\ 2$ 基因型与其它 4 种基因型比较, 穗粒重显著提高($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。 rht 、 $Rht\ 3$ 、 $Rht\ 1 + Rht\ 2$ 基因型之间 1995 年差异不显著, 1997 年 rht 显著高于 $Rht\ 3$ 和 $Rht\ 1 + Rht\ 2$ 基因系。 $Rht\ 2 + Rht\ 3$ 穗粒重最低。

千粒重: 1995 年, 除了 $Rht\ 2$ 、 $Rht\ 1 + Rht\ 2$ 基因型较 4 个近等基因系显著降低了千粒重外, 其它 4 个近等基因系之间差异不显著。1997 年 $Rht\ 3$ 显著高于 $Rht\ 1$ 、 $Rht\ 2$ 、 $Rht\ 1 + Rht\ 2$ 和 $Rht\ 2 + Rht\ 3$ 与 rht 差异不显著。 rht 高于 $Rht\ 2 + Rht\ 3$ 系。其它系之间无显著差异, 两年 $Rht\ 3$ 均较 $Rht\ 2$ 和 $Rht\ 1 + Rht\ 2$ 的千粒重显著提高。这与 Pinthus^[10] $Rht\ 1$ 、 $Rht\ 2$ 和 $Rht\ 3$ 基因型与 rht 基因型比较粒重降低的结论有一致的部分。

2.2 Rht 基因对冬小麦其它农艺性状的影响

各近等基因系之间的经济系数、倒二叶面积、株高 3 个性状的差异显著性测验达到显著或极显著水平。而旗叶面积、穗长 2 个性状的各近等基因系之间无显著差异(见表 2), 即不同矮秆基因 $Rht\ 1$ 、 $Rht\ 2$ 和 $Rht\ 3$ 及其不同组合形式均对这 2 个性状无影响。Youssefian 报道^[13], 每穗小穗数和穗长不受 $Rht\ 1$ 、 $Rht\ 2$ 和 $Rht\ 3$ 基因的影响, 这与本试验结果相吻合。

对基因型间差异显著的 3 个性状的平均数进行多重比较, 其新复极差测验结果如下:

经济系数: 1995 年, 具有 $Rht\ 2 + Rht\ 3$ 的矮秆基因系和高秆品种(rht)较其它 4 个近等基因系的经济系数显著降低($P < 0.05$ 或 0.01), 其它 4 个近等基因系之间无显著差异, 1997 年 $Rht\ 2 + Rht\ 3$ 矮秆基因系显著低于其它 5 个系, $Rht\ 3$ 显著低于 $Rht\ 1$ 半矮秆基因系。可见, $Rht\ 1$ 、 $Rht\ 2$ 和 $Rht\ 1 + Rht\ 2$ 均显著提高了经济系数。

倒二叶面积: 1995 年, $Rht\ 1$ 和 $Rht\ 2$ 基因系较其它 4 个基因系显著增大了倒二叶面积, rht 、 $Rht\ 3$ 、 $Rht\ 2 + Rht\ 3$ 和 $Rht\ 1 + Rht\ 2$ 等 4 个基因系之间差异不显著。1997 年各基因系之间差异不显著, 但也表现出 $Rht\ 1$ 和 $Rht\ 2$ 系的倒二叶面积较大。

株高: 6 个近等基因系之间除了 $Rht\ 1$ 和 $Rht\ 2$ 之间差异不显著外其它基因系之间均达到极显著水平, 其植株高矮依次为: $rht > Rht\ 2 = Rht\ 1 > Rht\ 1 + Rht\ 2 > Rht\ 3 > Rht\ 2 + Rht\ 3$ (见表 1)。可见不同的矮秆基因或不同的矮秆基因组合, 对植株高度的影响有明显差异, 育种时可根据不同的需要进行合理的亲本选配。

3 讨论

Gale 报道^[7], 在冬小麦品比试验中, Norin10 矮秆基因(*Rht1* 和 *Rht2*)对产量的作用表现一致的趋势是产量增加。这一趋势伴随着子粒变小和子粒数目的增加。但子粒变小没有抵消粒数的增加。每穗小穗数不受 *Rht1* 和 *Rht2* 基因的影响。许多报导证明, *Rht1* 和 *Rht2* 矮秆基因在提高小麦产量上具有相对优势^[5, 7, 10]。笔者认为这种提高产量的作用包括直接作用和间接作用。虽然这两个半矮秆基因系的株高较高秆品种有所降低, 但较坚硬的秆子和相对质地紧密的茎叶补偿了因株高降低而受到损失的部分生物产量。加之较高的光合效率以及光合产物转化率的提高, 使经济产量反而上升。Gale 认为, Norin 10 矮秆基因的主要作用是促进同化物向正在发育的穗子转移, 提高每小穗的可育小花数, 从而可以提高子粒产量。因此, 在小麦育种中合理利用 *Rht1* 和 *Rht2* 基因, 将是提高小麦产量的切入点之一。*Rht1* 和 *Rht2* 两个半矮秆基因对产量的作用大小不同学者的观点有所分歧。Gale 等(1984)认为两者没有本质上的差异, 而 Allan 等(1980)则认为 *Rht2* 的产量显著高于 *Rht1*。Villareal 等(1991)研究表明, 具有 *Rht1* 基因的品系比具有 *Rht2* 的品系产量高 3.8% 等, 众说纷纭。本试验表明, 1995 年 *Rht1* > *Rht2*, 1997 年两者间无显著差异。因此, 认为同一个矮秆基因在不同的研究环境表现出不同的作用, 在实际应用中, 应选择与当地生态环境相似的条件下的研究结论作为理论依据。

由上述结果可以看出, *Rht2* + *Rht3* 基因型不宜用来作为培育高产品种的亲本利用。*Rht3* 矮秆基因对小麦产量性状的负向作用已被世界上许多学者认可。但是 Flintham 等研究表明^[6], *Rht3* 基因型生物产量的降低程度类似于携带 *Rht1* 和 *Rht2* 半矮秆基因的品系, 在 16 个随机株系比较中, *Rht3* 对产量没有不利影响, 对粒数和子粒大小的影响与 *Rht1* 和 *Rht2* 相似。赵寅槐等(1993)报道, *Rht3* 基因最适于选育半矮秆杂种小麦。张荣铎等发现^[3], *Rht3* 基因对光合速率、叶绿素含量等具有正向效应, 但对光合速率高值持续期等有负向效应。王苏等报道^[2], 用 *Rht3* 矮秆系作亲本已选育出十几个较好的矮秆资源和一些矮秆品系, 具有较高的产量潜力和强抗倒伏能力。本试验研究认为, 就石家庄的生态环境而言, *Rht3* 和 *Rht2* + *Rht3* 基因系对产量的影响为劣势, 由于植株太矮, 分蘖成穗率低, 生物产量较 *Rht1* 和 *Rht2* 基因型显著降低, 提供子粒发育可利用的“源”太小, 加之小麦生长后期干热风影响, 引起植株早衰, 不能为小麦后期子粒灌浆提供保证, 虽然子粒并不小, 但结实率降低, 影响小麦产量。因而, 在河北这种生态环境下, *Rht3* 的单独应用价值较低。但不可否认, *Rht3* 是用于降秆的优良亲本, 它与其它矮秆基因结合, 改良秆高而具有特殊优良性状的品种仍有很大的应用价值。此外, *Rht3* 基因对提高千粒重有显著的正向作用。在以提高粒重为目的的育种中合理利用 *Rht3* 是可行的。

鸣谢 刘洪岭同志参加了 1995 年播种工作, 蒋春志同志参加 1995 年的收获工作, 谨此致谢。

参 考 文 献

- 1 李杏普, 蒋春志, 刘洪岭. *Rht1*、*Rht2* 和 *Rht3* 基因对春小麦农艺性状的影响. 河北农技师师范学院学报, 1995, 9 (3): 36~ 41
- 2 王苏, 赵寅槐, 陆京杰 等. 携 *Rht3* 基因小麦新矮秆系的选育与评价. 江苏农业科学, 1995(5): 16~ 17

- 3 张荣铎, 赵寅槐. *Rht3* 基因及带有 *Rht3* 基因的 4B 染色体对普通小麦光合同化特性的影响. 遗传学报, 1995, 2(4): 264~ 271
- 4 程治军、吕知敏. 小麦的矮秆基因及其研究方法. 作物杂志, 1995, (4): 36~ 37
- 5 Fischer R A, Quail K J. The effects of major dwarfing genes on yield potential in spring wheats. Euphytica, 1990(46): 51~ 56
- 6 Flintham J E, Gale M D. The 'Tom Thumb' dwarfing gene, *Rht 3* in wheat. Effects on height, yield and grain quality. Theor Appl Genet. 1983(66): 249~ 256
- 7 Gale M D, Youssefian S. Dwarfing genes in wheat. In: plant Breeding program Reviews, 1985. 1, 1~ 35
- 8 Law C N, Snape J M, Worland A J. The genetical relationship between height and yield in wheat. Heredity, 1978(40): 133 ~ 151
- 9 Masanori I, Mhammd Tahir. Effect of semi dwarf genes *Rht 1* and *Rht 2* on yield in dihaploid wheat lines. Japanese Journal of Breeding. 1991, 41: 163~ 167
- 10 Pinthus M J, Gale M D. The effects of 'gibberellin insensitive' dwarfing alleles in wheat on grain weight and protein content. Theor Appl Genet, 1990(79): 108~ 112
- 11 Pinthus M J, Levy A A. The relationship between *Rht 1* and *Rht 2* dwarfing genes and grain weight in *Triticum aestivum* L spring wheat. Theor Appl Genet, 1983(66): 153~ 157
- 12 Snape J W, Parker B B. The effects of the Norin 10 dwarfing gene, *Rht 2*, on yield biomass relationship in wheat (*Triticum aestivum*). In: Semidwarf cereal mutants and their use in crossing breeding 1984. II, 71~ 77
- 13 Youssefian S, Kirby E J M, Gale M D. Pleiotropic effects of the GA insensitive *Rht* dwarfing genes in wheat. 1. Effects on development of the ear, stem and leaves. Field Crops Research, 1992, (28): 179~ 210

Analyses of Advantages and Disadvantages of Different *Rht* Dwarfing Genes in Winter Wheat Breeding

Li Xingpu Mao Pei Duan Xishun Pang Chunming A.J. Worland

(Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050031)

Abstract The utilization value of different dwarfing genes in winter wheat breeding was studied by using 6 near isogenic lines carrying different *Rht* dwarfing genes over two years experiments. Results showed that both *Rht 1* and *Rht 2* as semi dwarfing gene had significantly positive effects on kernels number and grain weight per plant or per spike, harvest index and the area of boot leaf, and had significantly negative effect on 1000 grain weight comparing with tall line and *Rht 3* line. *Rht 3* as a dwarfing gene had significantly negative effect on Kernel number and grain yield per plant and kernel number per spike and had positive effect on 1000 grain weight. The interaction between *Rht 1* and *Rht 2* showed significantly positive effect on harvest index comparing with tall line and *Rht 2* + *Rht 3* line. The *Rht 2* + *Rht 3* genotype showed significantly negative effect on yield components and harvest index. All of these 5 genotypes mentioned above had significantly negative effect on plant height and no effect on the area of flag leaf and spike length.

Key words: Winter wheat; Dwarfing gene; Near isogenic line; Agronomic characteristics